干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2019.01.09

新疆三大山区可降水量时空分布特征①

郑　宁[1]，刘　琼[1]，黄　观[1]，陈勇航[1,2]，杨莲梅[2]
辛　渝[2]，李　曼[2]，琚陈相[2]，王智敏[3]

(1　东华大学环境科学与工程学院，上海　201620；2　中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所，新疆　乌鲁木齐　830002；
3　新疆维吾尔自治区人工影响天气办公室，新疆　乌鲁木齐　830002)

摘　要：利用美国宇航局(NASA)发布的2003年1月～2015年12月的AIRS Standard Physical Retrieval Edition 6.0中的level2的反演数据，对新疆及其周边地区——特别是三大山区近13 a的可降水量的时空分布特征进行了研究。结果表明，从空间分布看，可降水量高值区主要集中在盆地地区，尤其在塔里木盆地、准噶尔盆地及吐鲁番盆地。低值区主要分布在新疆南部的昆仑山脉和北部的阿尔泰山脉。最高值达14.74 mm，最低值达1.92 mm；新疆及其周边地区可降水量所有格点13 a平均值来看，总体上，夏季最高，冬季最低。从时间分布看，对新疆及其周边地区、天山、昆仑山和阿尔泰山4个研究区域分别进行区域平均，发现以上4个区域年变化呈单峰型，从1～7月的可降水量逐渐增加，8～12月份的可降水量逐月减少；可降水量的整体年际变化趋势是一致的，2003—2010年呈上升趋势，2010—2015年呈下降趋势。

关 键 词： 可降水量；AIRS；时空分布；三大山区；新疆

文章编号： 1000-6060(2019)01-0077-8(0077～0084)

空气中的水汽集中在地球表面附近，在大气中所占的比例很小，仅为0.1%～3%，但却是大气中最活跃的成分[1]。水汽对气候和天气有着重要的影响，它在地球大气中的三相变化使得大气中的能量发生改变，是形成云和降水的物质基础。可降水量，即垂直气柱中所含的水汽总量，反映了空中水汽的丰富度，是所有水资源的主要来源。新疆气候干燥，蒸发强烈，水资源总体紧缺，制约了可持续发展。新疆可利用水资源量能否支撑人口及社会经济的发展成为学术界所关注的热点[2]。因此，了解和分析空中水汽的分布和变化情况显得非常重要。

国内外的许多学者对新疆地区水汽的变化进行了研究。史玉光等[3]利用NCEP/NCAR再分析逐日资料，分析了新疆地区不同季节大气可降水量的气候特征。范雪薇[4]等利用NCEP/NCAR再分析逐日资料，采用整层大气可降水量计算公式计算了新疆大气可降水量和降水转化率。周成龙[5]等运用整层大气可降水量经验公式，计算了巴州不同区域降水量、可降水量和降水转化率。刘蕊等[6]通过NCEP资料计算和分析了新疆1948—2007年的大气水汽通量及其净收支情况。杨莲梅等[7]分析了新疆3～5月降水异常环流、水汽输送和收支特征，以及环流和水汽异常对整个水汽输送异常的贡献。戴新刚等[8]结合大气可降水量分析了气候意义上新疆的主要水汽源地及近十几年的变化。李如琦等[9]对新疆2010年两种暴雪类型发生时的大气环流、水汽输送特征进行了合成分析。WANG PENG等[10]研究分析了1979—2015年华北地区可降水量的变率和变化趋势，得出华东和塔里木盆地是两个高可降水量中心。LI Xuemei等[11]通过分析1961—2008年期间50个气象站每日降水的时间序列，研究了中国新疆降水统计结构的时空变化。GONG等[12]研究了中国西北地区水汽的时空变化特征，得出各省的可降水量依次为陕西、宁夏、内蒙古西部、新疆、甘肃和青海。MAHMOOD等[13]分析了新疆的干旱时期，并讨论了过去44 a可能影响降水的各种

① **收稿日期：** 2018-05-24；　**修订日期：** 2018-07-27
基金项目： 中国沙漠气象科学研究基金(SQJ2012002)；新疆维吾尔自治区人民政府项目(TUHA201401)；2015年新疆高层次引进人才项目
作者简介： 郑宁(1992-)，女，山东菏泽人，硕士研究生，大气环境与资源. E-mail:1710506921@qq.com
通讯作者： 陈勇航(1965-)，女，教授，博士，大气环境与资源. E-mail:yonghang@126.com

因素。

虽然前人针对水汽时空分布的研究已取得不少成果,但主要采用的是 NCEP/NCAR 再分析资料,应用 AIRS 卫星数据针对新疆特别是三大山区可降水量的研究尚罕见。AIRS 探测系统由 AIRS、AMSU-A 和 HSB 组成,可在所有云状况下提供高度准确的每日全球大气状况测量结果。以前的卫星空间仪器只有 15 个红外光谱通道,但 AIRS 有 2 378 个,极大提高了精度可以与气象探空气球的测量结果相媲美。研究了近 13 a(2003—2015 年)新疆地区——特别是三大山区可降水量的时空分布,以期为新疆地区的云水资源开发和天气气候研究提供科学参考。

1 研究区概况与卫星资料

1.1 研究区概况

本文共有 4 个研究区域(图 1),分别是:总研究区域(新疆及其周边),范围为 34 ~ 50° N,73 ~ 97°E;阿尔泰山,范围为 45 ~50°N,84 ~92°E;天山,范围为 40 ~45°N,74 ~96°E;昆仑山,范围为 35 ~ 39°N,75 ~92°E。新疆的地形特点是:山脉与盆地相间排列,盆地被高山环抱,俗喻“三山夹两盆”。北为阿尔泰山,南为昆仑山,天山横亘中部,把新疆分为南北两半,南部是塔里木盆地,北部是准噶尔盆地。习惯上称天山以南为南疆,天山以北为北疆。新疆是温带大陆性气候,其气候特点是昼夜温差大,属典型的大陆性干旱气候,南疆干旱,光照长,少雨,年降水量仅 20 ~100 mm,而北疆地区却达 100 ~ 500 mm。

1.2 卫星资料

采用2003年1月 ~2015年12月美国太阳同步极轨环境遥感卫星 Aqua(EOS-PM1)获取的 AIRS Standard Physical Retrieval Edition 6.0,level2 反演的数据集资料。

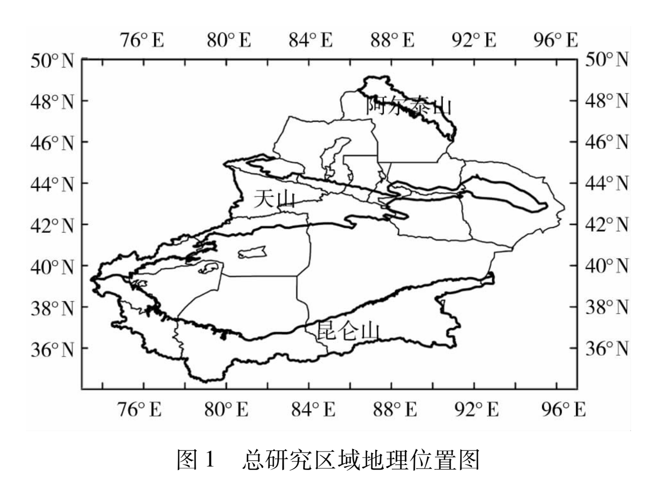


图 1 总研究区域地理位置图

Fig. 1 Location map of the whole study area

AIRS 是 NASA Aqua 卫星平台上六个观测仪器中的一个主要观测仪器,AIRS 探测系统是多个遥感器的组合,由 AIRS(the Atmospheric Infrared Sounder 大气红外探测器)、AMSU-A(the Advanced Microwave Sounding Unit 先进的微波探测器 - A)及 HSB (the Microwave Humidity Sounder 微波水汽探测器)组成。

AIRS 是采用光栅分光的高光谱分辨率的红外光谱仪。其仪器的红光谱观测覆盖范围为 3.7 ~ 15.4 ,共有 2 378 个红外光谱通道。在可见光和红外波段的扫描角度为 ±49.5°,星下点水平分辨率(地面视场扫描范围)为 13.5 km,垂直分辨率为 1 km,跨轨迹横向扫描宽度约为 1 650 km,能提供地面到 40 km 高度的大气温湿度廓线信息,AIRS 系统还可以提供关于陆地、海表面温度,地表比辐射率和云覆盖率,云顶高度和大气中臭氧含量等附加信息,得到全球范围内温度、湿度和云的三维分布图,如此丰富的资料可提高天气预报质量,可用于研究、最终预测全球气候变化,这使得 AIRS/AMSU-A/HSB 成为研究全球水、能量循环及气候变化及趋势、气候系统对增加温室气体的响应的主要观测系统。

2 结果与分析

2.1 可降水量多年平均空间分布

为了研究可降水量的空间分布特征,将 2003 年 1 月 ~2015 年 12 月的可降水量的格点均值进行空间平均,得到 2003—2015 年可降水量多年平均空间分布图(图 2)。从图中看出可降水量主要集中在海拔比较低的地区,而海拔比较高的山区可降水量相对较少,总体呈现由盆地到山区递减的趋势。吐鲁番盆地、准噶尔盆地和塔里木盆地为可降水量高值区,其中吐鲁番盆地可降水量值最高,达到 14.74 mm。准噶尔盆地的最大值达 14.26 mm,塔里木盆地最大值达 12.94 mm。昆仑山、天山和阿尔泰山山区为低值区,最低值出现在昆仑山山区,为 1.92 mm。天山山区最低值为 3.22 mm,阿尔泰山山区最低值为 4.36 mm。体现了地形高度是决定大气含水量的基本因素之一[13]。盆地地势低,其上空空气柱长,空气柱厚度大,大气中的水汽又主要密集于对流

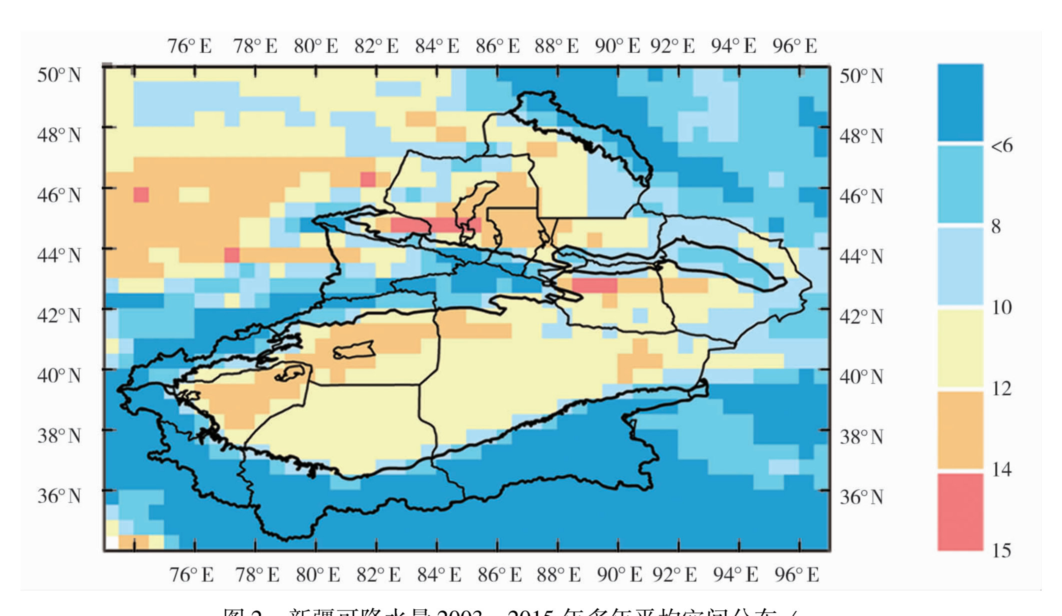


图 2　新疆可降水量 2003—2015 年多年平均空间分布 / mm

Fig. 2　Spatial distribution of multi-year average total precipitable water vapor in Xinjiang (2003—2015) / mm

层中下层,所以空中水汽较周边山区丰富[14]。

新疆地区可降水量最高值区分布在吐鲁番盆地。吐鲁番盆地北部靠近天山的区域与沙漠的其他区域相比,可降水量最高,且可降水量自西向东成递减趋势,可降水量自西向东分为 4 个层次。姚俊强[15]指出,吐鲁番地区降水量少,但水汽却为极大值,这与盆地内大气层较厚有关,也可能是天山以北通往该地的峡谷带来大量水汽的结果。可降水量次高值区分布在准噶尔盆地,准噶尔盆地靠近天山的区域可降水量在 10.23 ~ 14.26 mm,自西向东成递减趋势。可降水量自西向东可分为 4 个层次。一方面盆地地势低;另一方面,此处受到西风带的影响。由于距离较近的海洋或大的湖泊可以通过大气环流进行水汽输送,因此准噶尔盆地的部分水汽有可能来源于西北部的巴尔喀什湖。塔里木盆地以北靠近北疆的沿天山一带与其它区域相比,可降水量值最高。南部靠近青藏高原昆仑山一带大气可降水量最低。塔里木盆地可降水量自西向东递减,分为 3 个层次。塔里木盆地可降水量最大值达 12.94 mm,最大值处也是塔里木河上游与阿克苏河的交汇处,因此,很可能是河流的蒸发带来较丰富的水汽。虽然塔里木盆地和准噶尔盆地均受到西风带的影响,但塔里木盆地可降水量最大值小于准噶尔盆地,是因为塔里木盆地受到天山高大地形的阻挡,水汽很难到达。塔里木盆地南部的可降水量平均低于北部,原因在于虽然南部受到来自孟加拉湾水汽翻越青藏高原的西南水汽通量的影响[16],但是孟加拉湾输送到塔里木盆地南部的水汽,经长途跋涉和昆仑山阻挡,到达塔里木上空已是强弩之末,因此南部的可降水量平均低于北部。

从天山山区多年平均可降水量的空间分布特征看,天山山区大气可降水量的空间地域性和差异性明显,空间分布特征整体表现为从山区周边向山顶逐渐递减的趋势,山区靠近盆地的区域与山区其他地方相比,可降水量较大。天山可降水量高值区分布在中天山北麓平原区,最大可降水量为 13.46 mm。最小可降水量分布在西天山为 3.22 mm。原因在于,天山北麓平原区坐落于西风带盛行区,拦截了大量西风水汽[17]。昆仑山大部分地区可降水量小于 6 mm,最小值在最南端为 1.92 mm。北部与塔里木盆地接壤处的可降水量与南部地区比相对较高。阿尔泰山靠近准噶尔盆地西南部的可降水量相对东北部较高,东北部达到可降水量最小值为 4.36 mm。初步判断是阿尔泰山以西径流众多的额尔齐斯河带来水汽的结果。

为了更直观地了解新疆可降水量随季节变化的空间分布特征,本文利用 AIRS 反演的可降水量的数据资料进行处理,得到研究区域可降水量多年平均季节空间分布图(图 3),看出可降水量季节平均空间分布与多年平均空间分布格局基本相同,即总体呈现由盆地到山区递减的趋势。春季平均可降水量为 7 mm,范围在 1.57 ~ 13.69 mm,最低值出现在昆仑山,最高值出现在准噶尔盆地。秋季平均可降水量为 7.5 mm,范围在 1.47 ~ 14.11 mm,最低值出

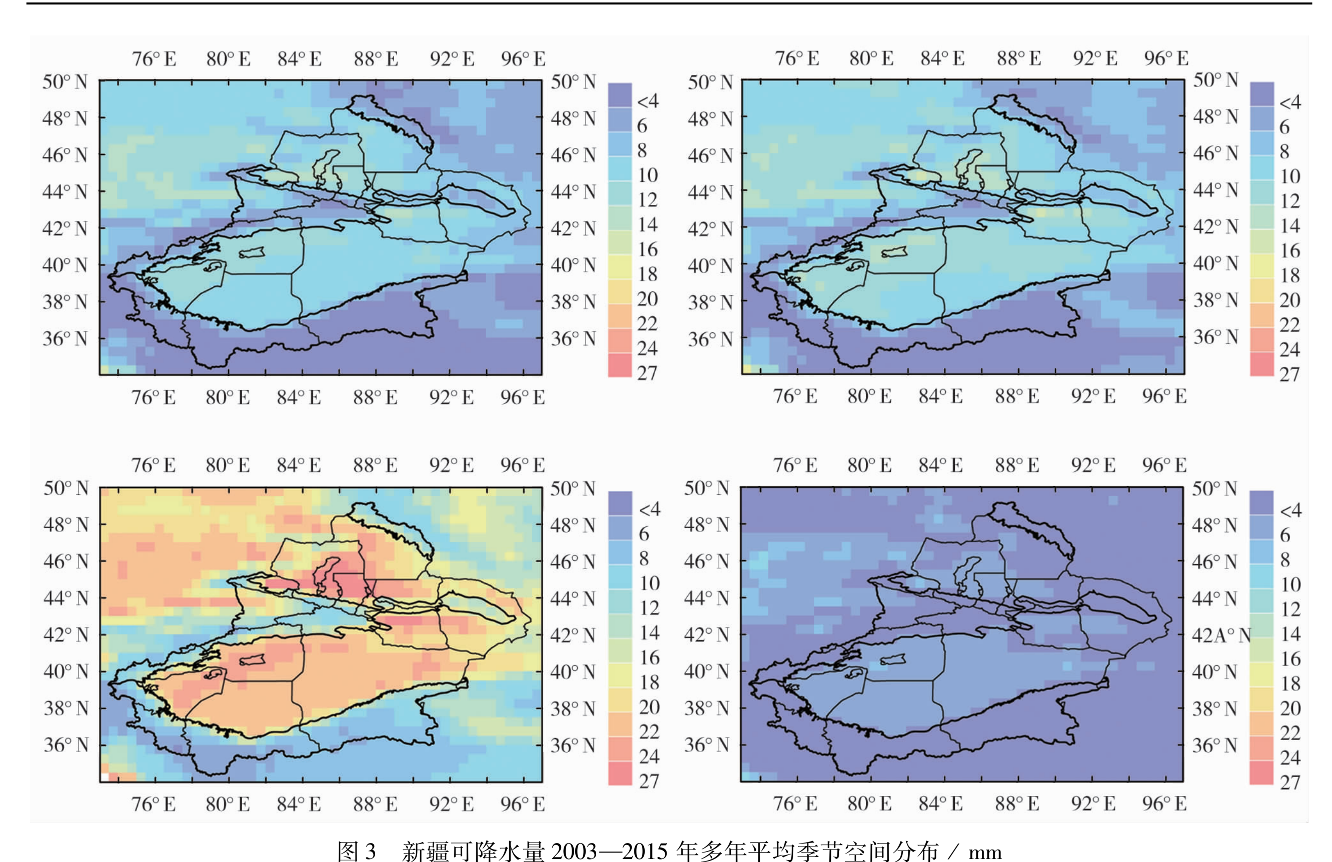


图 3　新疆可降水量 2003—2015 年多年平均季节空间分布 / mm

Fig. 3　Spatial distribution of multi-year average seasonal total precipitable water vapor in Xinjiang (2003—2015) / mm

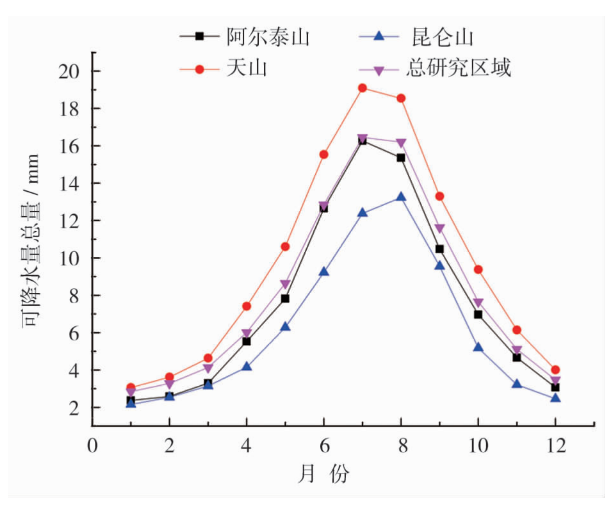


图 4　总研究区域及新疆三大山区 2003—2015 年平均的可降水量年变化 / mm

Fig. 4　Monthly variations of multi-year average total precipitable water vapor in Three Mountain Areas of Xinjiang and total study areas(2003—2015) / mm

现在昆仑山,最高值出现在吐鲁番盆地。夏季是一年中可降水量最丰富的季节,多年平均可降水量为 15.4 mm,范围在 3.87 ~ 26.4 mm,最低值出现在昆仑山,最高值出现在吐鲁番盆地,多年平均可降水量比春秋季增加 1 倍。冬季最小,均值为 3.2 mm,范围在 0.78 ~ 6.75 mm,最低值出现在昆仑山,最高值出现在塔里木盆地。即 4 个季节的可降水量最低值均出现在昆仑山,夏、秋季最高值均出现在吐鲁番盆地,冬、春季各自出现在塔里木盆地和准噶尔盆地,且各区域大气可降水量的差异在冬季最小,春、秋季次之,夏季最大。夏季是四季中可降水量最多的季节,是因为夏季气温达到一年中最高,蒸发最大,大气的含湿能力强,可降水量就高[18]。春秋季是过渡季节,两者可降水量的空间分布特征十分相似,但秋季的平均可降水量要高于春季。受来自西伯利亚的东亚冬季风影响,冬季寒冷、干燥,可降水量最少。

2.2　可降水量多年平均时间变化

从总研究区域及三大山区各月可降水量的分布(图 4)可见,年变化呈单峰型,从 1 ~ 7 月的可降水量逐月增加,8 ~ 12 月份的可降水量又逐月减少。夏季是可降水量的最高季节,平均为 12.56 ~ 16.05 mm,其中除了昆仑山,7 月最大;冬季最小,平均为 2.61 ~ 3.25 mm,其中 1 月平均最小。最大月与最小月差值为 13.44 mm,说明可降水量季节变化非常明显。邹进上[19]指出,我国可降水量的季节变化特征是:夏季大,冬季小,其中以7月份最大(南方沿

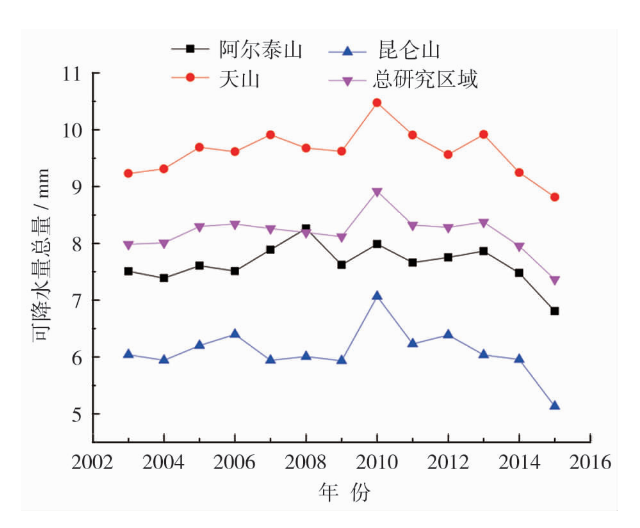


图 5　总研究区域及新疆三大山区 2003—2015 年平均的可降水量年际变化 / mm

Fig. 5　Interannual variations of multi-year average of total precipitable water vapor in Three Mountain Areas of Xinjiang and total study areas (2003—2015) / mm

海 6 月份最大),1 月份(或 2 月份)最小。这与本文总研究区域及三大山区可降水量季节变化特征是一致的。

总体来看,新疆及其周边地区月均可降水量值在 2.84 ~ 16.45 mm 之间变化,除昆仑山在 8 月为最大值,达 13.24 mm 外,其他 3 个研究区—新疆及其周边地区、天山、阿尔泰山在 7 月为最大值,分别依次达 16.45 mm、19.09 mm、16.27 mm。以上 4 个研究区域均在 1 月为最小值,分别依次为 2.16 mm、2.84 mm、3.06 mm、2.37 mm。

从总研究区域及三大山区 2003—2015 年可降水量的分布(图 5)可见,可降水量的年际变化趋势基本一致。总研究区域 2003—2015 年可降水量年平均为 8.19 mm,最大年水汽量为 8.92 mm(2010),比多年平均高 8.91%;最小为 7.37 mm,比多年平均低 10.01%, 两者相差 1.55 mm,表明年水汽量变化较小。天山和昆仑山的年际变化趋势和总研究区域类似,水汽的变化分为三个阶段,2003—2009 年较为平缓,变化幅度较小;2009 年以后可降水量急剧增长,2010 年达到峰值,为水汽变化的第二个阶段;2010 年以后出现波动下降趋势,为第三个阶段。而阿尔泰山水汽变化趋势明显与上述不同,在 2008 年达到峰值,整体变化较平缓,变化幅度小。2003—2015 年期间,新疆及其周边地区整体年均可降水量值在 7.37 ~ 8.92 mm 之间变化,除阿尔泰山在 2008 年为最大值,达 8.26 mm 以外,其它 3 个研究区——新疆及其周边地区、天山、昆仑山在 2010 年为最大值,分别依次达 8.92 mm、10.47 mm、7.07 mm。以上 4 个研究区域均在 2015 年为最小值,分别依次为 6.81 mm、7.37 mm、8.81 mm、5.13 mm。

从总研究区域 2003—2015 年可降水量年际变化来看,2003—2015 年 13 a 各年可降水量平均值为 8.19 mm ,13 a 来可降水量变化呈下降趋势。2005 年之前,可降水量小于平均值,2005—2008 年间可降水量大于平均值,2013 年以后可降水量小于平均值。2010 年最大,为 8.92 mm,2015 年最小,为 7.36 mm。以 2010 年为界可降水量变化可分为四个阶段:2003—2005 年,可降水量呈上升趋势;2005—2009 年,呈下降趋势,2009—2010 年上升;2010 年以后总体呈下降趋势。

从天山山区 2003—2015 年可降水量年际变化趋势看,2003—2015 年 13 a 各年可降水量平均值为 9.61 mm ,13 a 来可降水量变化呈下降趋势。2004 年之前,可降水量小于平均值,2004—2013 年间可降水量大于平均值,2014 年以后总水汽量小于平均值。2010 年最大,为 10.47 mm,2015 年最小,为 8.81 mm。以 2010 年为界可降水量变化可分为两个阶段:2003—2010 年有六年大于平均值,2003—2005 年呈上升趋势,2005—2009 年变化趋于平缓,2009—2010 年呈上升趋势;2010—2015 年整体呈下降趋势,仅在 2012—2013 年间有所上升,其余时间都是逐年下降。

从阿尔泰山山区 2003—2015 年可降水量年际变化来看,2003—2015 年 13 a 各年可降水量平均值为 7.64 mm ,13 a 来可降水量变化呈下降趋势。2006 年之前,可降水量小于平均值,2007—2013 年可降水量大于平均值,2014 年之后,可降水量小于平均值。2008 年最大,为 8.26 mm,2015 年最小,为 6.81 mm。以 2013 年为界总水汽变化可分为两个阶段;2003—2013 年有 8 a 大于平均值,总水汽量呈“下降上升”交替进行;2013 年以后总体呈下降趋势。

从昆仑山山区 2003—2015 年可降水量年际变化来看,2003—2015 年昆仑山山区 13 a 各年可降水量平均值为 6.10 mm ,13 a 来可降水量变化呈下降趋势。2004 年之前,可降水量小于平均值,2005—2006 年可降水量大于平均值,2007—2009 年可降水量小于平均值,2010—2012 年可降水量

大于平均值,2013 年之后可降水量小于平均值。2010 年最大,为 7.07 mm,2015 年最小,为 5.13 mm。以 2010 年为界可降水量变化可分为两个阶段:2003—2010 年间,2007—2009 年变化趋于平缓;2010 年之后,仅在 2011—2012 年有所上升,整体呈下降趋势。

3 结 论

利用 2003—2015 年 13 a 的 AIRS 卫星数据,研究了新疆三大山区可降水量的时空分布特征。针对水汽时空分布的研究,前人多采用 NCEP/NCAR 再分析资料,而本文选用的 AIRS 卫星资料可以获取实际大气中可降水量,相比再分析资料能够更真实地反映大气可降水量。此外,现有的一些研究主要针对新疆单个盆地或山区的可降水量,而本文同时研究了新疆地区多个典型山区和盆地的可降水量时空分布特征,并比较了它们之间的异同点,因此,本文的研究结果能够为新疆地区的云水资源开发和天气气候研究提供科学参考。主要得到以下结论:

(1) 新疆可降水量空间上呈从山区向盆地递增的趋势,昆仑山可降水量值最低,为 1.92 mm,吐鲁番盆地可降水量值最高,达到 14.74 mm。天山、昆仑山和阿尔泰山可降水量空间分布特征表现为从山区周边向山顶逐渐递减,吐鲁番盆地、准噶尔盆地和塔里木盆地可降水量空间分布特征表现为自西向东递减。盆地可降水量明显大于山区,这与盆地地形有关,盆地地势低,其上空空气柱长,空气柱厚度大,而大气中的水汽主要密集于对流层中下层,所以空中水汽较周边山区丰富。因此,盆地的云水资源具有较大的开发潜力。

(2) 从季节空间分布看,可降水量季节平均空间分布与多年平均空间分布格局基本相同,即总体呈现由盆地到山区递减的趋势。新疆整个地区可降水量的季节差异明显,可降水量均值在夏季最大,冬季最小,春秋次之。三大山区和盆地的可降水量季节变化一致,均表现为夏季最大,冬季最小,春秋次之,且山区的季节性差异明显小于盆地。

(3) 总研究区域、天山、阿尔泰山的可降水量年变化呈单峰型,从 1 月份到 7 月份的可降水量逐渐增加,7 月份到 12 月份的可降水量逐月减少,7 月为最大值,分别依次达 16.45 mm、19.09 mm、16.27 mm。昆仑山的可降水量年变化呈单峰型,从 1 月份到 8 月份的可降水量逐渐增加,8 月份到 12 月份的可降水量逐月减少,在 8 月为最大值,达 13.24 mm。总研究区域、天山、阿尔泰山和昆仑山均在 1 月为最小值,分别依次为 2.84 mm、3.06 mm、2.37 mm、2.16 mm。

(4) 总研究区域及天山、昆仑山可降水量的整体年际变化趋势是一致的,2003—2010 年呈上升趋势,2010—2015 年呈下降趋势,2010 年达到最大值,分别依次达 8.92 mm、10.47 mm、7.07 mm,由于受到 2009—2010 年厄尔尼诺现象的影响,总研究区域及三大山区的可降水量在 2009—2010 年出现明显增加,昆仑山变化尤其明显。阿尔泰山在 2003—2008 年整体呈上升趋势,2008—2015 年整体呈下降趋势,在 2008 年为最大值,达 8.26 mm。总研究区域、天山、昆仑山和阿尔泰山均在 2015 年为最小值,分别依次为 7.37 mm、8.81 mm、5.13 mm、6.81 mm。

本研究通过 AIRS Standard Physical Retrieval Edition 6.0中的 level2 的反演数据,分析了新疆及其周边地区——特别是三大山区近 13 a 的可降水量的时空分布特征。该套资料还提供了水汽垂直廓线方面的信息,希望后来者利用 AIRS 数据在三大山区的水汽垂直廓线方面做些工作,为进一步认识水汽分布和空中水资源开发利用提供参考。

致谢: 本文所用卫星资料来自美国宇航局(NASA)的 the Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center,在成文过程中得到了张学文研究员非常有益的指教,使作者获益匪浅。在此一并表示衷心的感谢!

参考文献(References)

[1] 盛裴轩,毛节泰,李建国,等. 大气物理学[M]. 北京:北京大学出版社,2003:17 - 19. [SHENG Peixuan, MAO Jietai, LI Jianguo, et al. Atmospheric physics[M]. Beijing: Peking University Press,2003:17 - 19.]

[2] 周宏飞,张捷斌. 新疆的水资源可利用量及其承载能力分析[J]. 干旱区地理,2005,28(6):756 - 763. [ZHOU Hongfei, ZHANG Jiebin. Analysis on the volume of available water resources and its carrying capacity in Xinjiang, China[J]. Arid Land Geography,2005,28(6):756 - 763.]

[3] 史玉光,孙照渤. 新疆大气可降水量的气候特征及其变化[J]. 中国沙漠,2008,28(3):520 - 525. [SHI Yuguang, SUN Zhaobo. Climate characteristics of atmospheric precipitable water over Xin-

jiang and its variation[J]. Journal of Desert Research,2008,28(3):520 - 525.]

[4] 范雪薇,刘海隆,赵宏宇,等. 基于 NCEP 资料新疆降水转化率的研究[J]. 石河子大学学报(自然科学版),2016,34(3):373 - 378.[FAN Xuewei,LIU Hailong,ZHAO Hongyu,et al. Analysis of precipitation conversion in Xinjiang based on NCEP data[J]. Journal of Shihezi University(Natural Science),2016,34(3):373 - 378.]

[5] 周成龙,钟昕洁,杨兴华,等. 新疆巴州地区降水量、可降水量及降水转化率计算解析[J]. 干旱区地理,2016,39(6):1204 - 1211.[ZHOU Chenglong,ZHONG Xinjie,YANG Xinghua,et al. Calculation of precipitation,precipitable water and precipitation conversion efficiency of Bayingolin Prefecture in Xinjiang[J]. Arid Land Geography,2016,39(6):1204 - 1211.]

[6] 刘蕊,杨青. 新疆大气水汽通量及其净收支的计算和分析[J]. 中国沙漠,2010,30(5):1221 - 1228.[LIU Rui,YANG Qing. Calculation and analysis of water vapor transportation and its net income in Xinjiang[J]. Journal of Desert Research,2010,30(5):1221 - 1228.]

[7] 杨莲梅,史玉光,汤浩. 新疆春季降水异常的环流和水汽特征[J]. 高原气象,2010,29(6):1464 - 1473.[YANG Lianmei,SHI Yuguang,TANG Hao. Characteristics of atmospheric circulation and water[J]. Plateau Meteorology,2010,29(6):1464 - 1473.]

[8] 戴新刚,李维京,马柱国. 近十几年新疆水汽源地变化特征[J]. 自然科学进展,2006,16(12):1651 - 1656.[DAI Xingang,LI Weijing,MA Zhuguo. Characteristics of water vapor site source site change in Xinjiang in recent ten years[J]. Progress in Natural Science,2006,16(12):1651 - 1656.]

[9] 李如琦,唐冶,肉孜・阿基. 2010 年新疆北部暴雪异常的环流和水汽特征分析[J]. 高原气象,2015,34(1):155 - 162.[LI Ruqi,TANG Zhi,ROUZI Aji. Atmospheric circulation and water vapor characteristics of snowstorm anomalies in Northern Xinjiang in 2010[J]. Plateau Meteorology ,2015,34(1):155 - 162.]

[10] WANG Peng,XIE Tongchuan,DAI Jiageng, et al. Trends and variability in precipitable water vapor throughout North China from 1979 to 2015[J]. Advances in Meteorology,2017,7804823.

[11] LI Xuemei,JIANG Fengqing,LI Lanhai,et al. Spatial and temporal variability of precipitation concentration index,concentration degree and concentration period in Xinjiang,China[J]. International Journal of Climatology Homepage,2010,31(11):1679 - 1693.

[12] GONG Shaoqi,HAGAN Daniel F T,WU Xinyi,et al. Spatio-temporal analysis of precipitable water vapour over northwest China utilizing MERSI/FY-3A products[J]. International Journal of Remote Sensing,2018,39(10):3094 - 3110.

[13] MAHMOOD Rashed, LI Shuanglin, KHAN Babar,et al. Causes of recurring drought patterns in Xinjiang,China[J]. Journal of Arid Land,2010,2(4):279 - 285.

[14] 崔丽娜,崔彩霞,李春花,等. 塔克拉玛干沙漠及其周边山区水汽时空分布特征[J]. 安徽农业科学,2012,40(35):17244 - 17248.[CUI Lina,CUI Caixia,LI Chunhua,et al. The temporal and spatial distribution characteristics of precipitable water in Taklimakan Desert and the surrounding mountains[J]. Journal of Anhui Agricultural Scienca. 2012,40(35):17244 - 17248.]

[15] 姚俊强,杨青,黄俊利,等. 天山山区及周边地区可降水量的计算与特征分析[J]. 干旱区研究,2012,29(12):567 - 573.[YAO Junqiang,YANG Qing,HUANG Junli,et al. Computation and analysis of water vapor content in Tianshan Mountains and peripheral regions,China[J]. Arid Zone Research,2012,29(12):567 - 573.]

[16] 刘蕊,杨青. 新疆大气水汽通量及其净收支的计算和分析[J]. 中国沙漠,2010,30(5):1221 - 1227.[LIU Rui,YANG Qing. Calculation and analysis of water vapour transportation and its net income in Xinjiang[J]. Journal of Desert Research,2010,30(5):1221 - 1227.]

[17] 安小艳. 天山山区地形对降水空间分布的影响研究[D]. 石河子:石河子大学,2015.[AN Xiaoyan. Effect of terrain on the spatial distribution of precipitation in the Tianshan Mountions[D]. Shihezi:Shihezi University,2015.]

[18] 姚俊强. 天山山区可降水量时空分布及强降水过程的水汽演变特征[D]. 乌鲁木齐:新疆师范大学,2012.[YAO Junqiang. Temporal-spatial distribution of the water vapor content and evolution character of water vapor during heavy rain in Tianshan Mountions[D]. Urumqi:Xinjiang Normal University,2012.]

[19] 邹进上,刘惠兰. 我国平均可降水量分布的基本特点及其控制因子[J]. 地理学报,1981,36(4):377 - 391.[ZOU Jinshang,LIU Huilan. The basic features of distribution of water vapour content and their controlling factors in China[J]. Acta Geographica Sinica,1981,36(4):377 - 391.]

Temporal and spatial distribution characteristics of total precipitable water vapor in Three Mountain Areas of Xinjiang

ZHENG Ning[1], LIU Qiong[1], HUANG Guan[1], CHEN Yong-hang[1,2], YANG Lian-mei[2], XIN Yu[2], LI Man[2], JU Chen-xiang[2], WANG Zhi-min[3]

(1 *College of Environmental Science and Engineering, Donghua University, Shanghai* 201620, *China*;
2 *Institute of Desert Meteorology China Meteorological Administration, Urumqi* 830002, *Xinjiang, China*;
3 *Office of Xinjiang Uygur Autonomous Region Modification, Urumqi* 830002, *Xinjiang, China*)

Abstract: Xinjiang is located in a arid region of northwest China, with dry climate, strong evaporation, and an overall shortage of water resources. Therefore, water resources play a decisive role in the sustainable development in Xinjiang. The total precipitable water vapor (TPWV in short) is the material basis for the formation of clouds and precipitation and an important part of water resources. Although previous studies on the spatial and temporal distribution of TPWV have yielded a lot of results, the research using AIRS data for water resources utilization and precipitation predicting in Xinjiang is still insufficient. In this study, the temporal and spatial characteristics of TPWV in Xinjiang were analyzed using the AIRS Standard Physical Retrieval Edition 6.0, level 2 inversion data from January 2003 to December 2015 released by NASA. The results are as follows: (1) The amount of TPWV was decreased from the basins to the mountains. The high value areas were located mainly in Junggar Basin, Turpan Basin and Tarim Basin. The maximum of TPWV occurred in Turpan Basin, reaching 14.74 mm. The low value areas were located mainly in Kunlun Mountains, Tianshan Mountains and Altay Mountains. The minimum of TPWV occurred in Kunlun Mountains, reaching 1.92 mm. The distribution of TPWV in Turpan Basin and Junggar Basin showed a decreasing trend from west to east with four levels. The distribution of TPWV in Tarim Basin showed a decreasing trend from west to east with three levels. The spatial distribution of TPWV in the above three mountains was gradually decreased from the piedmont fringes to the top of the mountain, and the areas in the mountains near basins had a relatively higher values of TPWV compared with other areas of the mountains. The maximum of TPWV in Xinjiang occurred in summer, followed by autumn and spring. And in winter, there was the minimum TPWV. The maximums of TPWV in summer and autumn appeared in Turpan Basin, which were 26.4 mm and 14.11 mm respectively. The maximums of TPWV in winter and spring appeared in Tarim Basin and Junggar Basin, which were 6.75 mm and 13.69 mm respectively. The difference in the amount of TPWV in each area was the smallest in winter, followed by spring and autumn, and the largest in summer. (2) The annual variation of TPWV in Xinjiang and its surrounding areas, Tianshan Mountains, Kunlun Mountains and Altay Mountains was of a single peak type. From January to July, the amount of TPWV was gradually increased, and the amount of TPWV from August to December was decreased month by month. Xinjiang and its surrounding areas, Tianshan Mountains, and Altay Mountains had their peaks in July, which were 16.45 mm, 19.09 mm and 16.27 mm respectively, while Kunlun Mountains had its peak in August, reaching 13.24 mm. The minimums of TPWV appeared in Xinjiang and its surrounding areas, Tianshan Mountains, Altay Mountains and Kunlun Mountains in January, which were 2.84 mm, 3.06 mm, 2.37 mm and 2.16 mm respectively. (3) The inter-annual variations of TPWV in Xinjiang and its surrounding areas, Tianshan Mountains, Kunlun Mountains, and Altay Mountains were consistent, showing an upward trend from 2003 to 2010 and a downward trend from 2010 to 2015. Xinjiang and its surrounding areas, Tianshan Mountains and Kunlun Mountains had their peaks in 2010, which were 8.92 mm, 10.47 mm, and 7.07 mm respectively, while Altay Mountains had its peak in 2008, reaching 8.26 mm. The minimums of TPWV appeared in Xinjiang and its surrounding areas, Tianshan Mountains, Kunlun Mountains and Altay Mountains in 2015, which were 7.37 mm, 8.81 mm, 5.13 mm and 6.81 mm respectively.

Key words: total precipitable water vapor; AIRS; spatial and temporal distribution; Three Mountain Areas; Xinjiang